

OPTICAL PATH CONVERTER AND OPTICAL PATH CONVERTING ARRAY

Patent Number: JP7287104
Publication date: 1995-10-31
Inventor(s): YAMAGUCHI SATORU; others: 02
Applicant(s): NIPPON STEEL CORP
Requested Patent: ☐ JP7287104
Application Number: JP19940103356 19940418
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B3/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide an optical path converter which can rotate a flat light by 90 deg. and the optical path converting array which arrays plural flat lights arrayed in a broken-line shape in a ladder shape facilitate the convergence thereof.

CONSTITUTION: A flat light is made incident on the optical path converter 1, which has a 1st gradient index lens part 2 and a 2nd gradient index lens 3 having the same focal length formed at a distance twice as large as the focal length, so that the long axis of the light slants at 45° to the center line of the linear gradient index lens part 2, and then the long axis and short axis of an image are inverted to obtain an image similar to that formed by rotating the flat light by 90 deg.. This optical path converter 1 is slanted at 45 deg. to the array direction and respective flat lights of lights in the broken-line shape are rotated by 90 deg. and array in the ladder shape. Consequently, a multistripe array semiconductor laser light is converged with high efficiency and made narrow.

Data supplied from the esp@cenet database - i2

特開平7-287104

(43) 公開日 平成7年(1995)10月31日

(51) Int.Cl.^a

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 3/00

B

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-103358

(22) 出願日 平成6年(1994)4月18日

(71) 出願人 000008655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 山口 哲

相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株

式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 小林 哲郎

東京都千代田区大手町2-6-3 新日本

製鐵株式会社内

(72) 発明者 齊藤 吉正

東京都千代田区大手町2-6-3 新日本

製鐵株式会社内

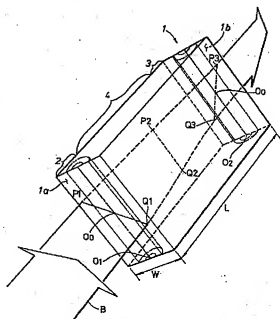
(74) 代理人 弁理士 大島 陽一

(54) 【発明の名称】 光路変換器及び光路変換アレイ

(57) 【要約】

【目的】 偏平な光を90°回転可能な光路変換器及び破線状に配列された複数の偏平な光を梯子状に配列してその集光を容易にする光路変換アレイを提供する。

【構成】 第1の分布屈折率レンズ部と、これと同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが焦点距離の2倍の距離だけ離間して形成させた光路変換器に対して、偏平光をその長軸が第1の一次元分布屈折率レンズ部の中央線に対して45°傾くように入射することで、像の長軸と短軸とが反転し、即ち偏平光が90°回転したのと同様な像となる。この光路変換器を配列方向に対して45°傾けて破線状の光線の各偏平光を90°回転させて梯子状に配列すれば、マルチストライプアレイ半導体レーザ光を高効率で集光し、かつ細く絞ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 偏平な透過光の光軸と直交する入射面上の第1の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離開するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなる第1の分布屈折率レンズ部と、前記透過光の光軸と直交する出射面上に於ける前記第1の軸線と平行な第2の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離開するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなり、かつ前記第1の分布屈折率レンズ部と同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが、前記各分布屈折率レンズ部の焦点距離の2倍の距離だけ互いに離開して形成された光学ガラス体からなり、前記偏平な透過光を、その長軸が前記第1の軸線に対して45°傾くように前記入射面から入射し、前記第1及び第2の軸線を通る面を中心に像を反転させて前記透過光を光軸周りに90°回転させたのと等価な光を出射することを特徴とする光路変換器。

【請求項2】 偏平な透過光の光軸と直交する入射面上の第1の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離開するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなる第1の分布屈折率レンズ部と、前記透過光の光軸と直交する出射面上に於ける前記第1の軸線と平行な第2の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離開するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなり、かつ前記第1の分布屈折率レンズ部と同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが、前記各分布屈折率レンズ部の焦点距離の2倍の距離だけ互いに離開して形成された光学ガラス体からなる複数の光路変換器を、前記第1及び第2の軸線に対して45°傾く方向に配列し、破綻状をなす複数の前記偏平な透過光を、その長軸が前記第1の軸線に対して45°傾くように前記各光路変換器の入射面から入射し、前記第1及び第2の軸線を通る面を中心に像を反転させて梯子状に配列して出射することを特徴とする光路変換レイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、透過光の形状を変換するための光路変換器及び光路変換レイに関し、特に半導体レーザレイを光源とする偏平な光の形状を変換するのに適した光路変換器及び光路変換レイに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 レーザ光を集光して光エネルギーを利用する技術の向上は、レーザ加工分野に於て最重要課題の一つである。通常のレーザ加工に用いられるレーザ発生器としては、YAGレーザが多用されている。しかしながらYAGレーザは、電気入力に対する光出力の変換効率が低く、比較的大規模な装置と多量の冷却水が必要で

ある。

【0003】 一方、電気入力/光出力の変換効率がよく、かつコンパクトで大かりな冷却装置を必要としないレーザ装置として、半導体レーザ素子を用いたものが知られている。また、比較的高出力が得られる半導体レーザ素子としては、マルチストライプアレイベン半導体レーザが知られている。これは10本〜100本のストライプ活性層が半導体チップに刻まれており、1次的に配列した10箇所〜100箇所の線分状の各点からレーザ光が出射する破綻状の光源を有している。

【0004】 ところで、レーザ光は、レーザ加工分野のみならず、医療分野でも使用性の高いレーザ光源を提供する要望を満たす上からは、1本の光ファイバに高効率に導光できることが好ましい。このため、上記マルチストライプアレイベン半導体レーザを用いる場合には、各活性層からの出射光をそれぞれ個別の光ファイバに導光してファイババンドとし、これらの光ファイバの端面からの出射光を新たに集光するなどの措置がとられている。ところがこの場合、光ファイバのカブリング損失が大きいために、破綻状に出射するレーザ光を単一の光ファイバに導光して細く高密度に絞ることが困難であった。

【0005】 他方、半導体レーザ光を励起光源として用いた固体レーザが、高効率、長寿命、及び小型化を図れることから注目を集めている。この半導体レーザ励起固体レーザに於ける固体レーザの光軸方向から光励起する端面励起方式によると、固体レーザ発振のモード空間に半導体レーザ出力光による励起空間をマッチングさせることによって高効率な単一基本モード発振を実現し得るが、例えば単レンズを用いてマルチストライプアレイベン半導体レーザ光を集光した場合、マルチストライプアレイベン半導体レーザの光源の全長が約10mm程もあるため、フォーカシング時にレンズの倍率で決まる径寸法のビームスポットしか得られず、端面励起方式の励起光源としてとして実用的な1mm以下の径寸法のビームスポットを得ることは到底不可能であった。

【0006】 そこで、図9に示すように、マイクロレンズアレイベンを用いてマルチストライプアレイベン半導体レーザ素子の活性層21が出射するレーザ光をそれぞれ個別にコリメートした後、フォーカシングレンズ26を用いてビームスポットBSを一面所に絞って全ストライプ光を重ねさせる方法がある。この方法によれば、マイクロレンズ31とフォーカシングレンズ26との焦点距離で決まる倍率を各活性層21の全幅に掛け合わせた程度のビームスポット径が得られ、マルチストライプアレイベン半導体レーザ発生素子の活性層21に対して重畳成分は細く絞ることができるが、隣合ったストライプ光同士が重なり合わないようするために、各ストライプ光に対応する各マイクロレンズを、半導体レーザ発生素子の出射面に近接配置する必要があるため、各マイクロレンズに焦点距離の短いものを使う必要があり、フォーカシン

グレンズとの組合せで決まる倍率が大きくなりすぎるを得ず、実用的な集束スポット径にするには至らない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】マルチストライプアレイ半導体レーザ素子22は、図10に示すように、通常、約100 μm ~200 μm 幅の活性層21が、全幅約10mmの平面内に10本~100本一定間隔で配列されている。従って、ひとつの半導体レーザ発生素子から10本~100本のレーザ光が射出する破線状の光源が与えられる。これらの各ストライプ光は、それぞれ偏平な光源から発せられたものであり、ビーム放射角は活性層に対して垂直成分 θV が相対的に大きく約40°~50°であり、平行成分 θH は相対的に小さく約10°である。また発光源の幅は垂直成分が相対的に狭く0.1 μm ~1 μm であり、平行成分は相対的に広く上述のように100 μm ~200 μm である。

【0008】上記したように垂直成分 θV は容易に絞ることができることから、絞った後にレーザ光の垂直成分 θV と平行成分 θH を入れ替えて各ビームが梯子状に配列されれば、平行成分 θH も容易に絞れ、全体として容易に集光することができる。即ち、まず焦点距離の短いマイクロシリンドリカルレンズレイを用いて活性層21の延在方向に垂直成分 θV を集光し、次いで垂直成分 θV と平行成分 θH を入れ替えて焦点距離の長いシリンドリカルレンズを用いて平行成分 θH を集光する。最後にフォーカシングレンズを用いて両成分をビームスポットに集束させる。ここで垂直成分については、マイクロシリンドリカルレンズを光源に近接配置するので、倍率は高くなるものの、光源の幅が極めて狭いために集束スポット径はそれほど大きくならない。また平行成分については、シリンドリカルレンズを光源から離間配置するので、倍率を小さく抑えることができるために集束スポット径を小さくすることができる。

【0009】本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、半導体レーザ活性層に対して平行な成分を集光するに際し、コリメータレンズを光源から離間して配置し、フォーカシングレンズとの組合せで決まる倍率を小さくすることによって絞ったビームスポット径を小さくすることのできる光路変換器を提供することにある。これに加えて本発明の第2の目的は、マルチストライプアレイ半導体レーザ素子から射出される放射角が大きい多数のレーザビームを集光して単一のスポットに絞り込み、レーザ加工光源として使用したり、光ファイバに導光したり、固体レーザ発振のモード空間に半導体レーザ出力光による励起空間をマッチングしたりすることができるように、固体レーザ基本波を高効率に生起可能な光路変換アレイを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】このような目的は、本発

明によれば、偏平な透過光の光軸と直交する入射面上の第1の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離間するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなる第1の分布屈折率レンズ部と、前記透過光の光軸と直交する出射面上に於ける前記第1の軸線と平行な第2の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離間するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなり、かつ前記第1の分布屈折率レンズ部と同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが、前記各分布屈折率レンズ部の焦点距離の2倍の距離だけ互いに離間して形成された光学ガラス体からなり、前記偏平な透過光を、その長軸が前記第1の軸線に対して45°傾くように前記入射面から入射し、前記第1及び第2の軸線を通る面を中心に像を反転させて前記透過光を光軸周りに90°回転させたのと等価な光を射出することを特徴とする光路変換器、及び偏平な透過光の光軸と直交する入射面上の第1の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離間するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなる第1の分布屈折率レンズ部と、前記透過光の光軸と直交する出射面上に於ける前記第1の軸線と平行な第2の軸線を中心としてその近傍で屈折率が最も高く、該軸線から離間するにつれて漸減するように内部組成が徐々に変化してなり、かつ前記第1の分布屈折率レンズ部と同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが、前記各分布屈折率レンズ部の焦点距離の2倍の距離だけ互いに離間して形成された光学ガラス体からなる複数の光路変換器を、前記第1及び第2の軸線に対して45°傾く方向に配列し、破線状をなす複数の前記偏平な透過光を、その長軸が前記第1の軸線に対して45°傾くように前記各光路変換器の入射面から入射し、前記第1及び第2の軸線を通る面を中心に像を反転させて梯子状に配列して射出することを特徴とする光路変換アレイを提供することによって達成される。

【0011】

【作用】本発明の光路変換器によれば、入射した偏平光は、第1の分布屈折率レンズ部でその入射位置の屈折率に応じて曲げられ、全体としてレンズの中心線を中心に反転して、丁度偏平方向が90°回転したねじれの状態で第2の分布屈折率レンズ部から射出する。即ち、各分布屈折率レンズ部はシリンドリカルレンズとして機能すると共に各レンズ部同士との位置関係の調整が別々のレンズを組み合わせた場合に比較して容易になる。また、複数の上記光路変換器を45°傾けて配列し、これらに破線状に直列する線状光を通過させれば、梯子状に並列した光に変換される。これにより、マルチストライプアレイ半導体レーザ素子からの射出光を、まず垂直成分を集光して破線状に直列する線状光とし、更に梯子状に並列した光に変換した後、平行成分をコリメートする構成とすれば、レーザ素子とコリメートレンズとの間の光学距

離を長くとも、隣同士のストライプ光が重なり合うことがなく、マルチストライプアレキサンダー半導体レーザー光を重畳させて微小なスポットに絞り込むことができる。

【0012】

【実施例】以下に添付の図面に示された具体的な実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。

【0013】まず、本発明の光路変換器の光路変換原理について説明する。図1は本発明が適用された光路変換器1の斜視図、図2(a)は、図1に示す光路変換器1の側面図、図2(b)は図2(a)の光路変換器1の正面図である。この光路変換器1は、一端面を入射面1aとし、他端面を出射面1bとする平板状の光学ガラス体からなる。

【0014】この光路変換器1の入射面1a側には、屈折率の一次元的な分布が入射面1aの厚さW方向の中央線(第1の軸線)O₁で最も高く、この中央線O₁から離間するにつれて漸減するようになっている第1の分布屈折率レンズ部2が形成されている。また、光路変換器1の出射面1b側には、上記第1の分布屈折率レンズ部2と同様に、屈折率の一次元的な分布が出射面1bの厚さW方向の中央線(第2の軸線)O₂で最も高く、この中央線O₂から離間するにつれて漸減するようになっている第2の分布屈折率レンズ部3が形成されている。これら第1の分布屈折率レンズ部2と第2の分布屈折率レンズ部3との間の中間部4は均一な屈折率となっている。尚、光路変換器1の長さ(L)は、各分布屈折率レンズ部2、3の屈折率分布特性との相関に応じて、入射光が各中央線O₁、O₂を通る面を中心に丁度反転して同じ大きさの像として出射するように、各分布屈折率レンズ部2、3の焦点距離の2倍程度に設定されている。

【0015】ここで、図2(a)に於ける右方の入射面1aから入射した光線a・b・d・eは、それぞれが通る部分の屈折率の差に応じて光路変換器1内を進み、a'・b'・d'・e'となって左方の出射面1bから出射する。また中央に入射した光線cは、光路変換器1内を中央面に沿って直進し、c'となって出射する。即ち、互いに焦点距離の等しい第1の分布屈折率レンズ部2と第2の分布屈折率レンズ部3とを焦点距離の2倍だけ離して設置することにより、等倍の反転した像が得られる。

【0016】一方、この光路変換器1の入射面1aには、該入射面と直交する方向から偏平光(半導体レーザー素子からの出射光)Bが入射し、その光軸は入射面1aの中心O₀を通るように、また偏平光Bの長軸が上記厚さW方向の中央線O₁、O₂に対して45°傾くように設定される。すると、入射面1aから入射面1aに入射した偏平光Bは、その断面を線分P1Q1で表すと、第1の分布屈折率レンズ部2で屈折して光路変換器1内の中間部で焦点を結び(線分P2Q2)、反転して第2の分布屈折率レンズ部3に至る。そして、この第2の分布屈折

率レンズ部3で屈折して出射面1bから出射し(線分P3Q3)、元の方角に進む。ここで、入射面1aと偏平光Bの光軸とが直交し、かつ偏平光Bの長軸が中央線O₁に対して45°傾いていることから、偏平光Bが各中央線O₁、O₂を通る面を中心に対称に反転すると、偏平光Bが光軸を中心に90°回転した状態と同様になる。

【0017】尚、上記したような各分布屈折率レンズ部を形成するには、例えば板状のガラス体の上記中央線O₁、O₂の部分のみにスリットを設けてN⁺イオンをA⁺イオンに置換し、イオン拡散分布を利用して屈折率分布を形成すれば良い。これを第1及び第2の分布屈折率レンズ部2、3と同時に行えば、容易に同様な特性を有する2つの分布屈折率レンズ部を形成することができ、かつそれらの位置関係の調整を別途行う必要がない。

【0018】上記した光路変換器1を複数配列してマルチストライプアレキサンダー素子からの出射光を処理する光路変換アレキ5を図3に示す。ここで、マルチストライプアレキサンダー素子22は、活性層21の発光端面が破線状に配列しており(図10参照)、これら各活性層21の発光端面から出射した光の垂直成分θVをシンドリカルレンズまたはを用いて集光させて破線状の偏平光が入射するものとする。各光路変換器1は上記各偏平光の光軸が入射面1aが直交し、かつ偏平光の長軸と入射面1aの中央線O₁とが45°傾くように、即ち配列方向と入射面1aの中央線O₁とが45°傾くように配列している。これにより、入射した各偏平光を90°回転させ、即ち、レーザー光の垂直成分θVと水平成分θHとを入れ替えて梯子状に配列させて出射するようになっている。

【0019】このようにして、一直線上に破線状に直列した多数のストライプ光B1は、光路変換アレキ4により、見かけ上梯子状に並列したストライプ光B2に変換される。

【0020】上記の構成に於ては、一つのストライプ光に対して一つの光路変換器1を対応させている。従って、幅寸法が小さな活性層を多数配列したものに對しては光路変換器として極めて小さなものを用意しなければならないことになる。しかしながら実用上は、複数のストライプ光に対して一つの光路変換器を対応させても良い。この場合は、隣接する光路変換器の配列ピッチと同一幅に多数のストライプを分割し、分割した要素毎に90度回転することになるが、この場合でも、光路変換器の配列ピッチと同程度にレーザー光を絞ることができる。

【0021】上記光路変換器を用い、例えば200μm幅の活性層21を800μmピッチで12本配列してなるマルチストライプアレキサンダー素子22が出射するレーザー光を集光する半導体レーザー集光装置23を図4に示す。図4に於て、マルチストライプアレキサンダー素子22に近接配置した円柱レンズ24によって

活性層21に対する垂直成分をコリメートした後、活性層21に対応して光路変換器1(各変換器が配列面に対して45°で傾斜)を800 μ mピッチで配列した光路変換アレィ5により、各ストライプ光の断面の長軸と短軸とを反転させる。

【0022】次いで光路変換アレィ5からの出射光を集光するように配置されたシリンドリカルレンズ25によって活性層と平行な成分をコリメートする。そして最後にフォーカシングレンズ26を用いてレーザ光を絞り込む。これにより、焦点の位置に複数のストライプ光が重畳したビームスポットB5を得る。

【0023】このようにして、フォーカシングレンズ26とビームスポットB5との間の距離と、マルチストライプアレィ半導体レーザ素子22とシリンドリカルレンズ25との間の距離との比を小さくできるので、極めて小さな径(直径400 μ m)に集光されたビームスポットB5が得られる。尚、垂直成分については、フォーカシングレンズ26とビームスポットB5との間の距離と、マルチストライプアレィ半導体レーザ素子22と円柱レンズ24との間の距離との比が大きくなるものの、光源の幅が十分に小さいため、絞られたビームスポット径は小さくならない。

【0024】上記円柱レンズに代えて、円柱レンズと同等の働きをするシリンドリカルレンズを用いても良いことは言うまでもない。

【0025】上記半導体レーザ集光装置を用いて集光したレーザ光を光ファイバ(コア径400 μ m)に導光することもでき、図5に示すように、フォーカシングレンズ26にて集光したレーザ光を光ファイバ27に導光すると、10Wの半導体レーザ出力のうち60%の導光効率を得られる。

【0026】また、上記半導体レーザ集光装置にて集光したレーザ光を用いて固体レーザを光励起することもでき、図6に示すように、フォーカシングレンズ26にて集光したレーザ光にてYAGレーザなどの固体レーザ素子28の端面励起による光励起を試みると、10Wの半導体レーザを用いて3WのYAGレーザ出力が得られる。

【0027】更に、図7に示すように、フォーカシングレンズ26にて集光したレーザ光を光ファイバ27に導光した上で固体レーザ素子28を端面励起により光励起すると、2WのYAGレーザ出力が得られる。

【0028】

【発明の効果】このように本発明によれば、第1の分布屈折率レンズ部と、これと同じ焦点距離の第2の分布屈折率レンズ部とが焦点距離の2倍の距離だけ離間して形成させた光路変換器に対して、偏平光をその長軸が第1の分布屈折率レンズ部の中央線に対して45°傾くように入射することで、像の長軸と短軸とが反転し、即ち偏平光が90°回転したのと同様な像となる。このとき、

各分布屈折率レンズ部はシリンドリカルレンズとして機能すると共に各レンズ部同士の位置関係の調整が別々のレンズを組み合わせた場合に比較して容易になる。この光路変換器を配列方向に対して45°傾けて波線状の光線の各偏平光を90°回転させて梯子状に配列すれば、大出力のマルチストライプアレィ半導体レーザ光を高効率で集光し、かつ細く絞ることができるので、パワー密度の高いビームスポットを得ることができる。これにより、レーザ加工やレーザはんだ付けに於て特に精密な加工を実現することが可能となる。また、集光したマルチストライプアレィ半導体レーザ光を光ファイバに導光するように構成すれば、レーザ光の取扱性が高められる。さらに、上記構成を有する半導体レーザ励起固体レーザによれば、従来のアレィ半導体レーザでは困難であった端面励起が可能となり、効率並びにビーム品質の高い固体レーザを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が適用された光路変換器の構成及び光路変換の様子を示す模式的斜視図。

【図2】(a)部及び(b)部は、図1の光路変換器の光路変換の原理を説明するための側面図及び正面図。

【図3】本発明が適用された光路変換アレィとマルチストライプアレィ半導体レーザ光との対応図。

【図4】本発明が適用されたレーザ装置の構成を示す模式的側面図。

【図5】本発明が適用されたレーザ装置の構成を示す模式的側面図。

【図6】本発明が適用されたレーザ装置の構成を示す模式的側面図。

【図7】本発明が適用されたレーザ装置の構成を示す模式的側面図。

【図8】(a)部及び(b)部は、従来の波線状に配列したマルチストライプアレィ半導体レーザの集光状態を説明する平面図及び側面図。

【図9】マルチストライプアレィ半導体レーザ素子と各活性層からの出射光パターンを示す模式的斜視図。

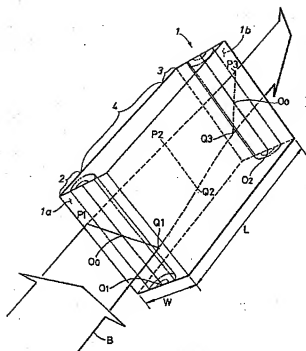
【符号の説明】

- 1 光路変換器
- 1a 入射面
- 1b 出射面
- 2 第1の分布屈折率レンズ部
- 3 第2の分布屈折率レンズ部
- 4 中間部
- 5 光路変換アレィ
- 21 活性層
- 22 マルチストライプアレィ半導体レーザ素子
- 24 円柱レンズ
- 25 シリンドリカルレンズ
- 26 フォーカシングレンズ
- 27 光ファイバ

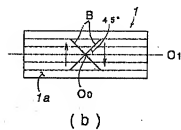
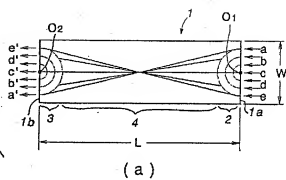
28 固体レーザー素子
29 共振器出力鏡
30 レンズ

31 マイクロレンズ
O₁ 第1の軸線
O₂ 第2の軸線

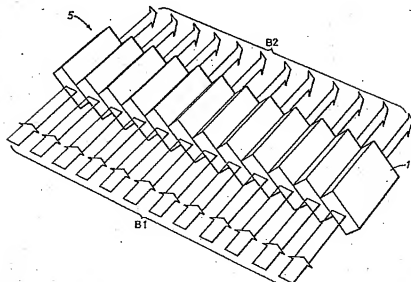
【図1】



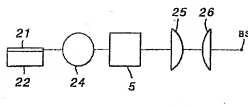
【図2】



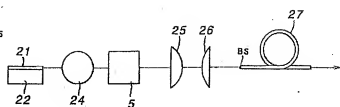
【図3】



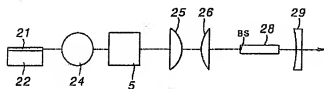
【図4】



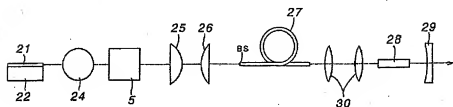
【図5】



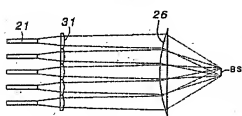
【図6】



【図7】

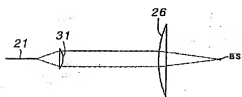
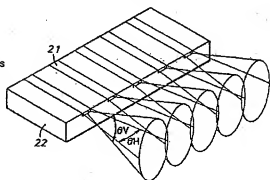


【図8】



(a)

【図9】



(b)